

# Weiße Biotechnologie

## *Einsatz von extremophilen Mikroorganismen in biobasierten Technologien*

Hülsenberger Gespräche 2008

G. Antranikian

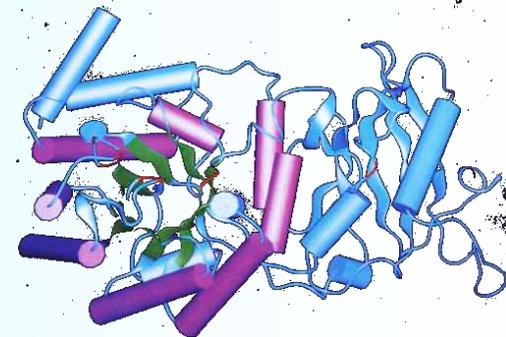
Institut für Technische Mikrobiologie  
Technische Universität Hamburg-Harburg

22. Mai 2008



## Agenda

1. Die Weiße Biotechnologie
2. Wirtschaftliche Bedeutung der Weißen Biotechnologie
3. Stand der aktuellen Forschung und Entwicklung
4. Neue Technologien und Innovationen
5. Ausblick



# Definitionen

## Weißer Biotechnologie (Industrial Biotechnology) 55 Mrd. €\*



- Chemie**
- Feinchemikalien
  - Grundstoffe
  - Aminosäuren
  - Vitamine
  - Wirkstoffe
  - Bioethanol
  - Biogas



\*Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie

## Rote Biotechnologie (Healthcare Biotechnology) 48 Mrd. €\*

- Gesundheit**
- Diagnostika
  - Therapeutika
  - Impfstoffe



## Grüne Biotechnologie (Plant Biotechnology) 4,4 Mrd. €\*

- Landwirtschaft**
- Pflanzenschutzmittel
  - Saatgut
  - Futtermittel



## *Definition*



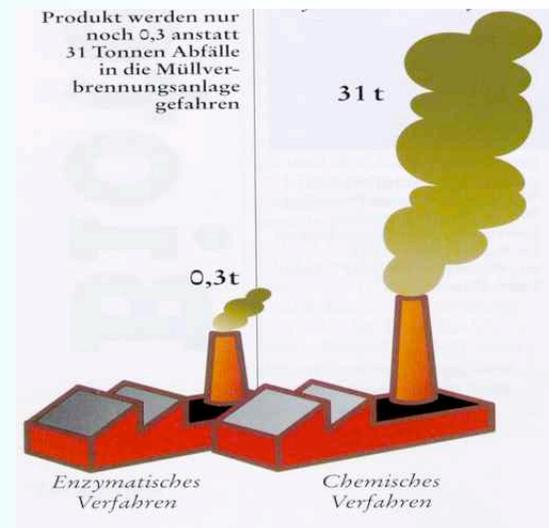
**Weißer (industrieller) Biotechnologie ist der innovative Einsatz der Biotechnologie für die nachhaltige Herstellung von (Fein-)Chemikalien, Wirkstoffen, neuen Materialien und Brennstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen unter Einsatz von Biokatalysatoren (lebende Zellen und/oder deren Enzyme)**

***Die Weiße Biotechnologie basiert überwiegend auf der Biokatalyse und auf Fermentationstechnologien***

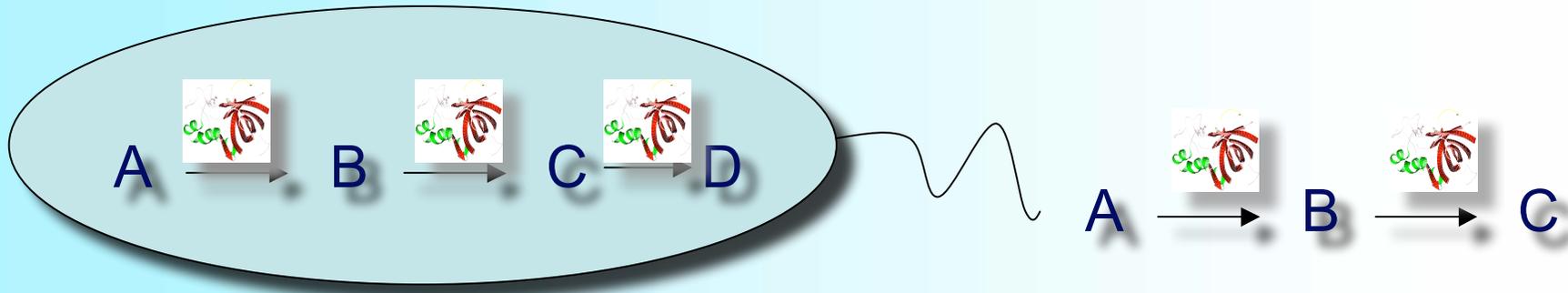


## *Weißer Biotechnologie ist Integrierte Biotechnologie*

- Keine „End of Pipe“-Technologie (Abwasserreinigung, Abluftreinigung, Bodensanierung)
- Weiße Biotechnologie trägt zum produktionsintegrierten Umweltschutz bei



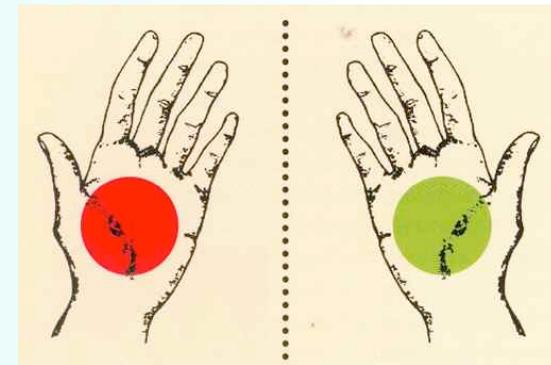
# Biokatalyse: Motor der Weißen Biotechnologie



**Ganzzellsysteme /  
Fermentation**

**Isolierte Enzyme /  
Biokatalyse**

- natürliche Katalysatoren
- effizient: beschleunigen chem. Reaktionen
- spezifisch: keine unerwünschten Nebenprodukte, Enantioselektivität
- biologisch abbaubar
- keine Schwermetalle, hohe Drücke
- können Chemikalien ersetzen



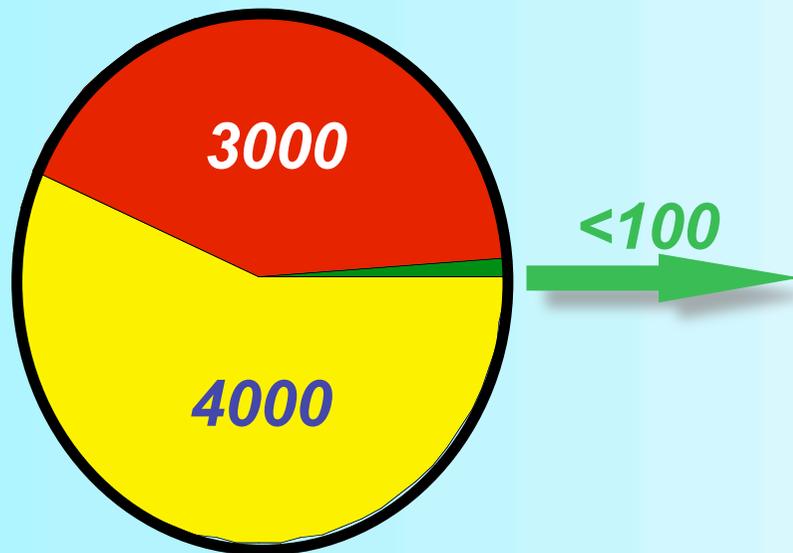
**Aspartam**

**10.000 t 850 Mio €**

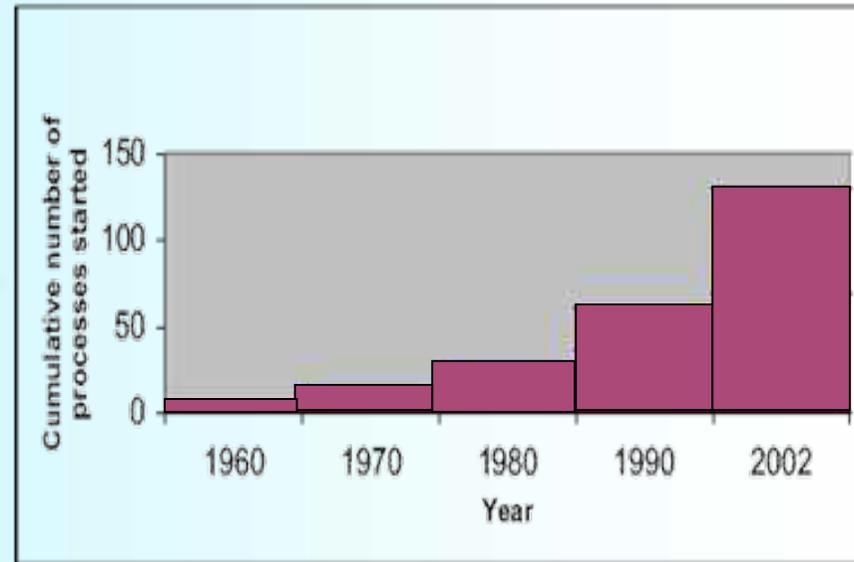


# Erst wenige Enzyme werden industriell eingesetzt

*Von den schätzungsweise 7000 in der Natur vorkommenden Enzyme sind erst 3000 bekannt*



- *unbekannte Enzyme*
- *bekannte Enzyme*
- *industriell genutzte Enzyme*



A. Straathof, S. Panke, A. Schmid (2002) Curr. Opin. Biotechnol.

**Weniger als 100 Enzyme werden kommerziell genutzt (4-5 Mrd. €, 10% Steigerungsrate/a)**

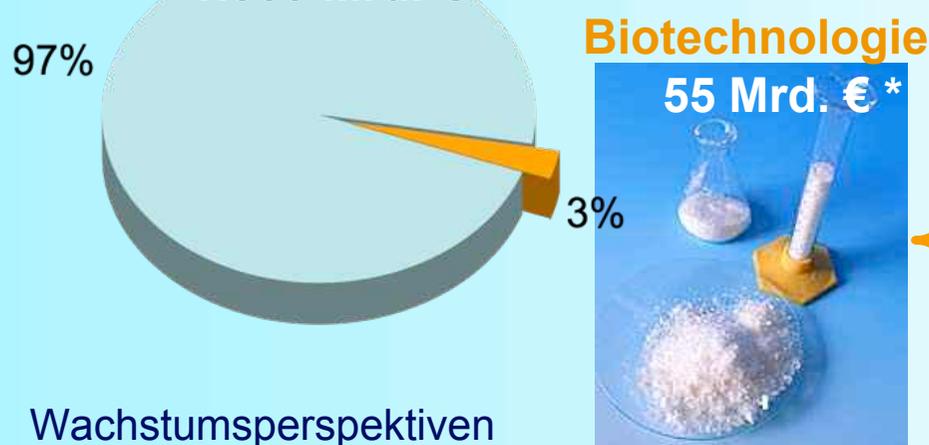


**Enzymweltmarkt:  
4-5 Mrd. €, 10% Steigerung/a**



**Wert der Produkte, die mit Hilfe von  
Enzymen hergestellt werden:  
150 Mrd. €**

**Weltmarkt (Chemikalien)  
1.560 Mrd. €**



- Bioethanol 15,0 Mrd. €
- Vitamine, Aminosäuren 3,8
- Organische Säuren 2,0
- Building Blocks 9,5
- Aromen 1,5

Wachstumsperspektiven

- McKinsey 10 - 20 % pro Jahr.
- Festel Capital 30 % pro Jahr

\* 9,6 Mrd. € in 1992



# Die deutsche chemische Industrie

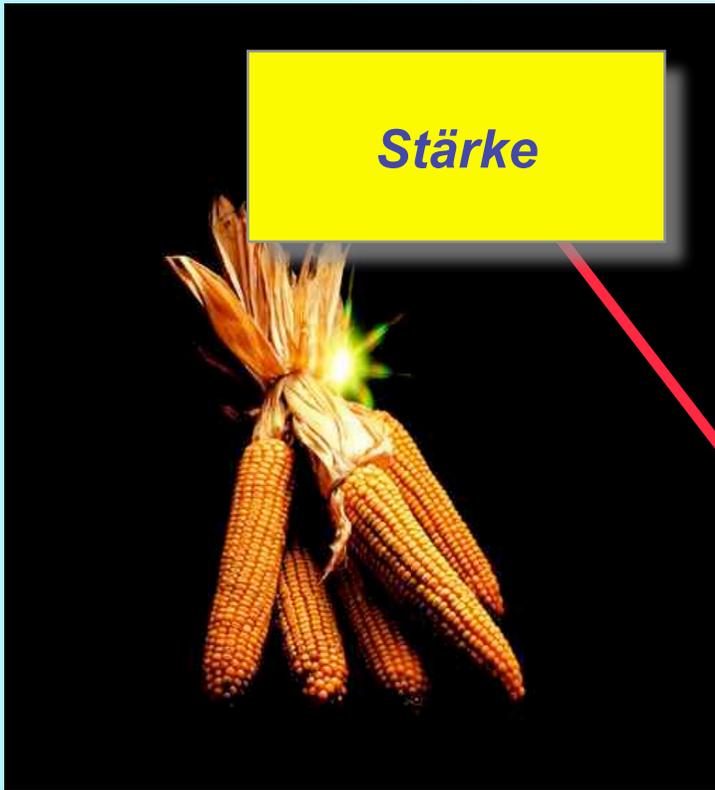
## Zahlen, Daten und Fakten

- Weltweit die Nummer 3 (nach USA und Japan, vor Frankreich und China)
- 140 Mrd. € Umsatz mit 460.000 Mitarbeitern  
(Autoindustrie: 202 Mrd. € Umsatz mit 770.000 Mitarbeitern)
- 7 Mrd. € für F&E Vorhaben (40.000 Wissenschaftler)
- Deutschland ist Weltmeister im Chemieexport (86 Mrd. €)  
Aber: **Weltmarktanteil ist rückläufig** (1991: 10,5%; 2003: 8,5%)



# Stärke- und Zuckerindustrie

**Stärke**



**Stärke-prozessierende Enzyme**



**Glucose/Fructose  
(HFCS)**

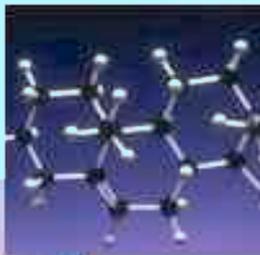
**Isosirup (Gluc/Fruct) 8 Mio. t  
6,4 Mrd. €**

**Weitere Stärkeprodukte:**

- modifizierte Stärke
- Cyclodextrine **5000 t 50 Mio. €**



## Feinchemie (Aminosäuren, Vitamine, Wirkstoffe): Biokatalyse statt Feuer- und Schwertchemie



L-Glutamat	1,5 Mio. t	1,8 Mrd. €
L-Lysin	700.000 t	1,4 Mrd. €
Vitamin B <sub>2</sub>	30.000 t	
Aspartam	10.000 t	850 Mio. €
7-ACS*	2.000 t	

Antibiotika 19 Mrd. €

\* 7-Aminocephalosporansäure



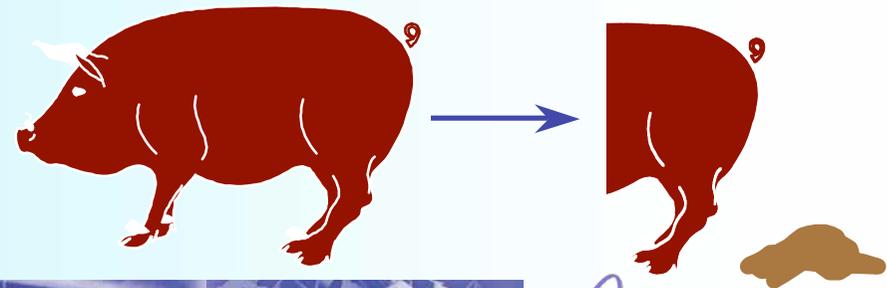
*Aus dem weltweiten Biomasseabfall ließen sich 40% aller Chemikalien herstellen*



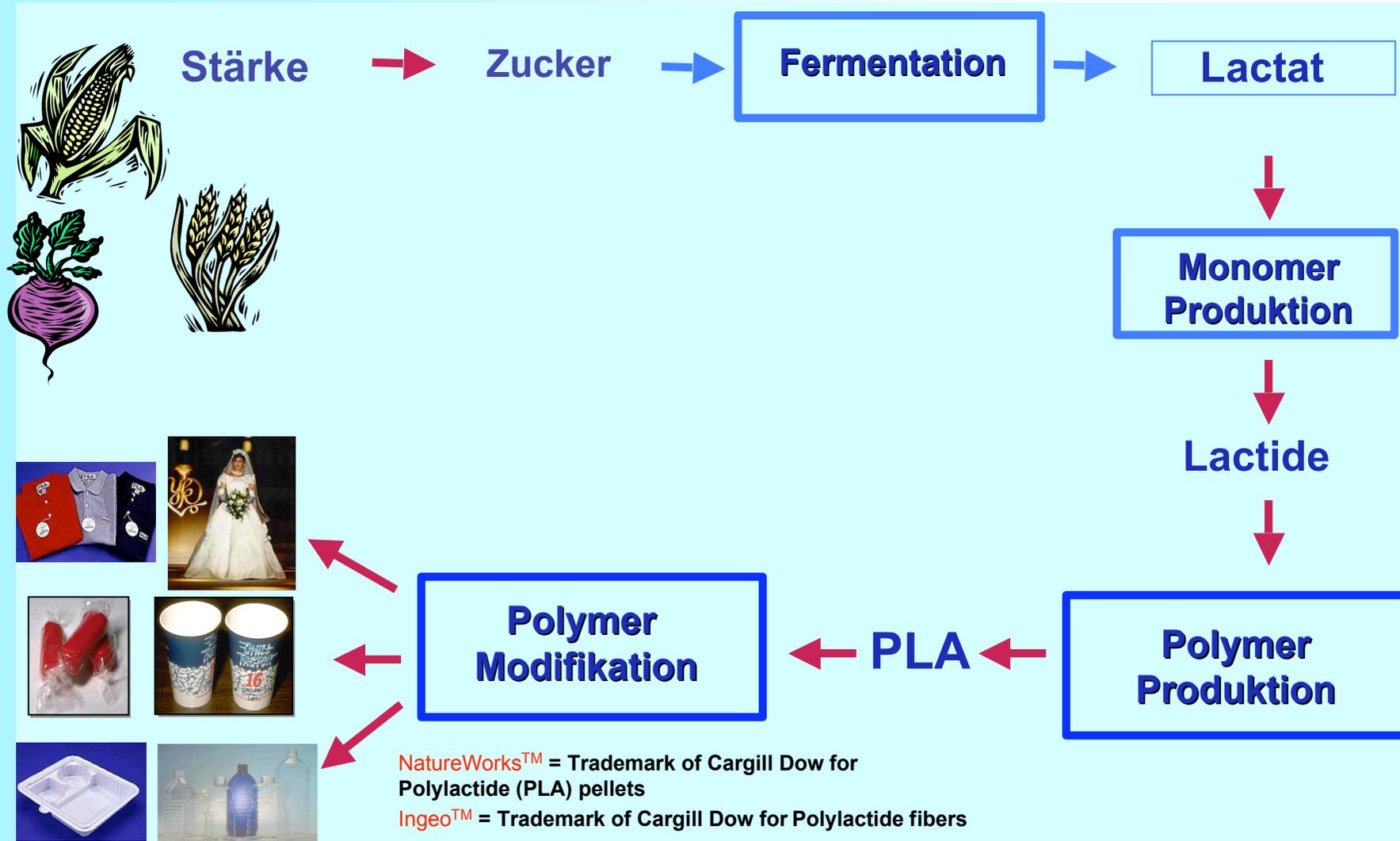
# Enzymeinsatz in der Tierernährung



- Hochwertiges Futter
- Reduktion der Phosphatmission (Phytasen)



# Beispiel: Biopolymer aus Biomasse

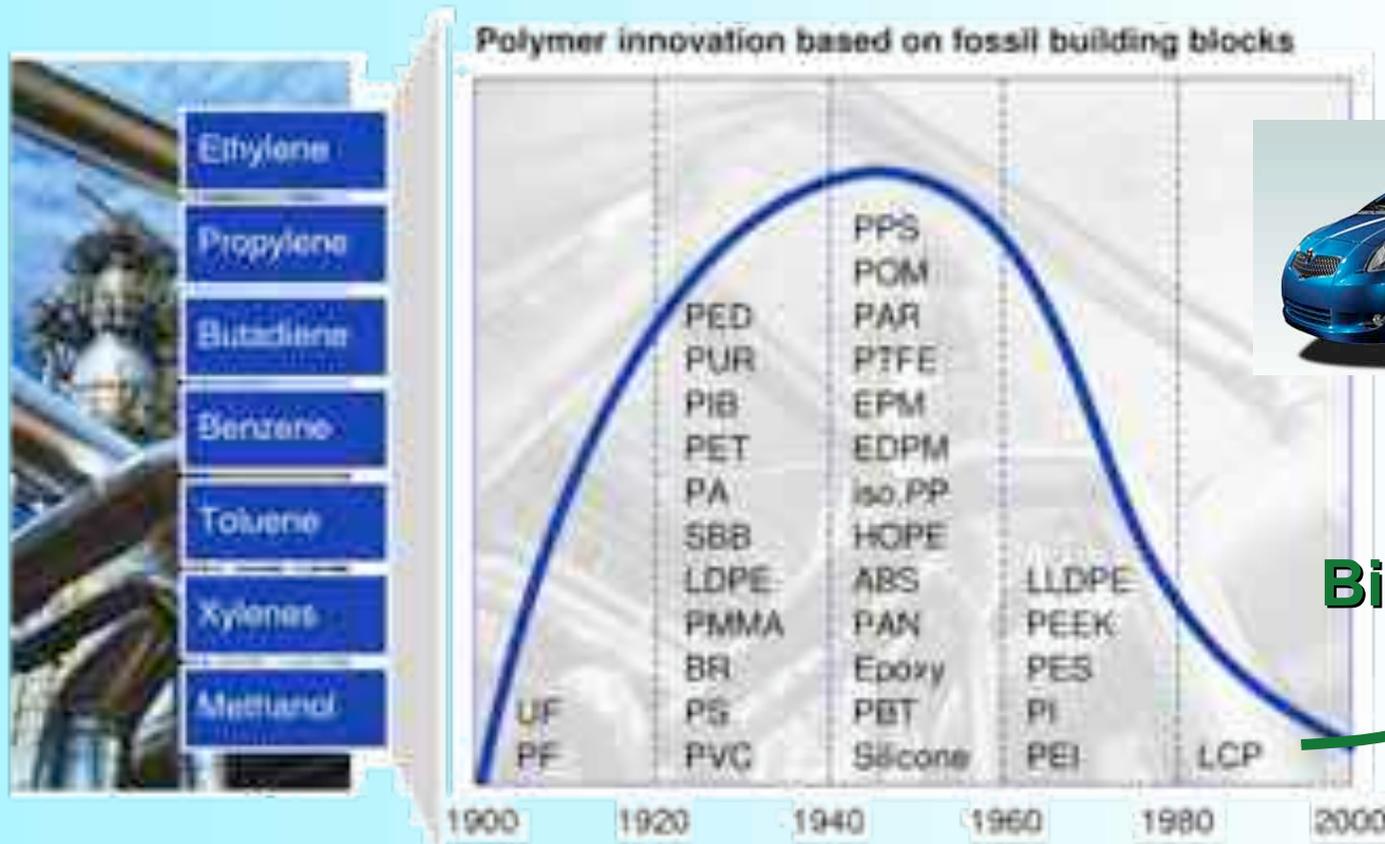


180.000 t PLA, Blair, Nebraska



# Die Zukunft der Polymerindustrie

## Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen



**Biokunststoffe**

**60 % d. Weltmarktbedarfs für Kunststoffe in 2020  
38 Mrd. €**

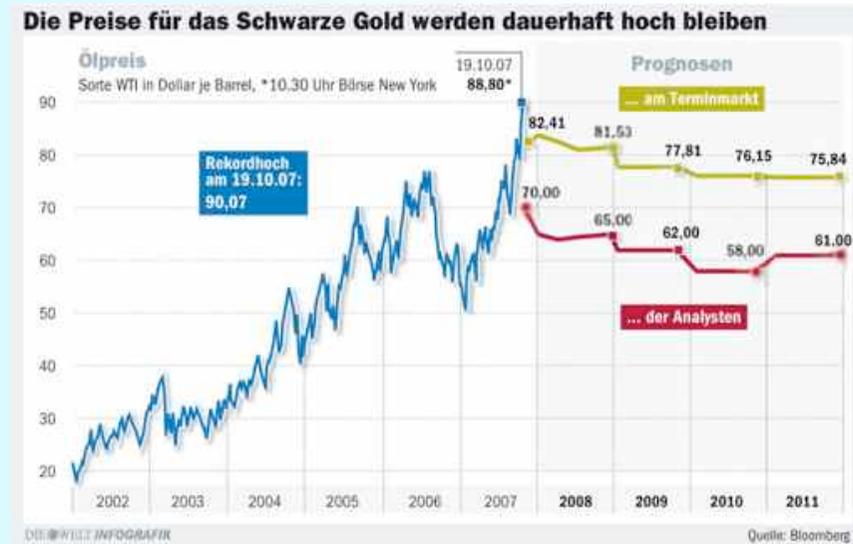
Abbildung 8: Entwicklung von Polymeren auf der Grundlage von Building Blocks, Quelle: McKinsey 2003



# Beispiel: Bioenergie

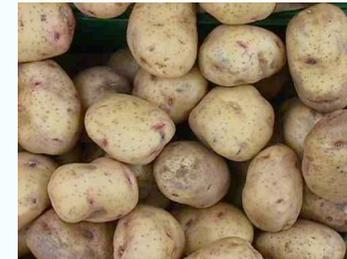
## „Der Ölpreisschock“

- Der Ölpreis ist in den letzten 8 Jahren von 10 US\$ auf über 120 US\$ gestiegen
- Rohöl ist eine endliche fossile Ressource: ohne neue Ölfunde und verbesserte Förder-technologien werden die Ölvorräte in absehbarer Zeit erschöpft sein



## Stärke- und zuckerhaltige Rohstoffe

- Getreide, Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben, Zuckerrohr



## Cellulosehaltige Rohstoffe

- Getreidestroh, Rapsstroh, Ganzpflanzen, Bagasse, Trester & Treber, Zuckerrübenschnitzel, Silagen, Baumwolle, (Alt-)Papier



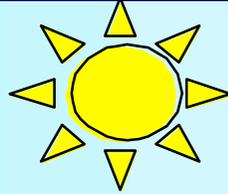
## Bioethanol - Ein gefragter Kraftstoff

- Die geschätzte Weltjahresproduktion von Bioethanol im Jahr 2006 beträgt 43 Mio. m<sup>3</sup>
- Der Ethanolbedarf in Deutschland liegt bei rund 700.000 m<sup>3</sup>; produziert wurden 2004 rund 300.000 m<sup>3</sup>
- In den USA wird Bioethanol zu 10 % beigemischt. In Brasilien zu 20 - 25 %



# Nutzung von Biomasse

CO<sub>2</sub>



**Biomasse**



**Biomasseabfall, Stroh, Holz**

Fermentation  
/Biokatalyse

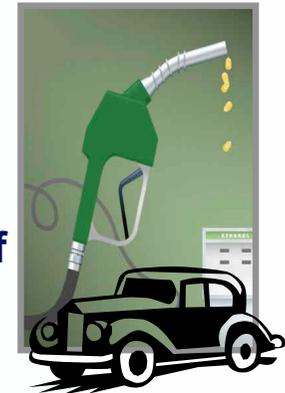
Fermentation/  
Biokatalyse

Fermentation

**Chemikalien**  
Feinchemikalien  
Grundstoffe  
Vitamine  
Aminosäuren  
Wirkstoffe  
Biopolymere  
Neue Materialien



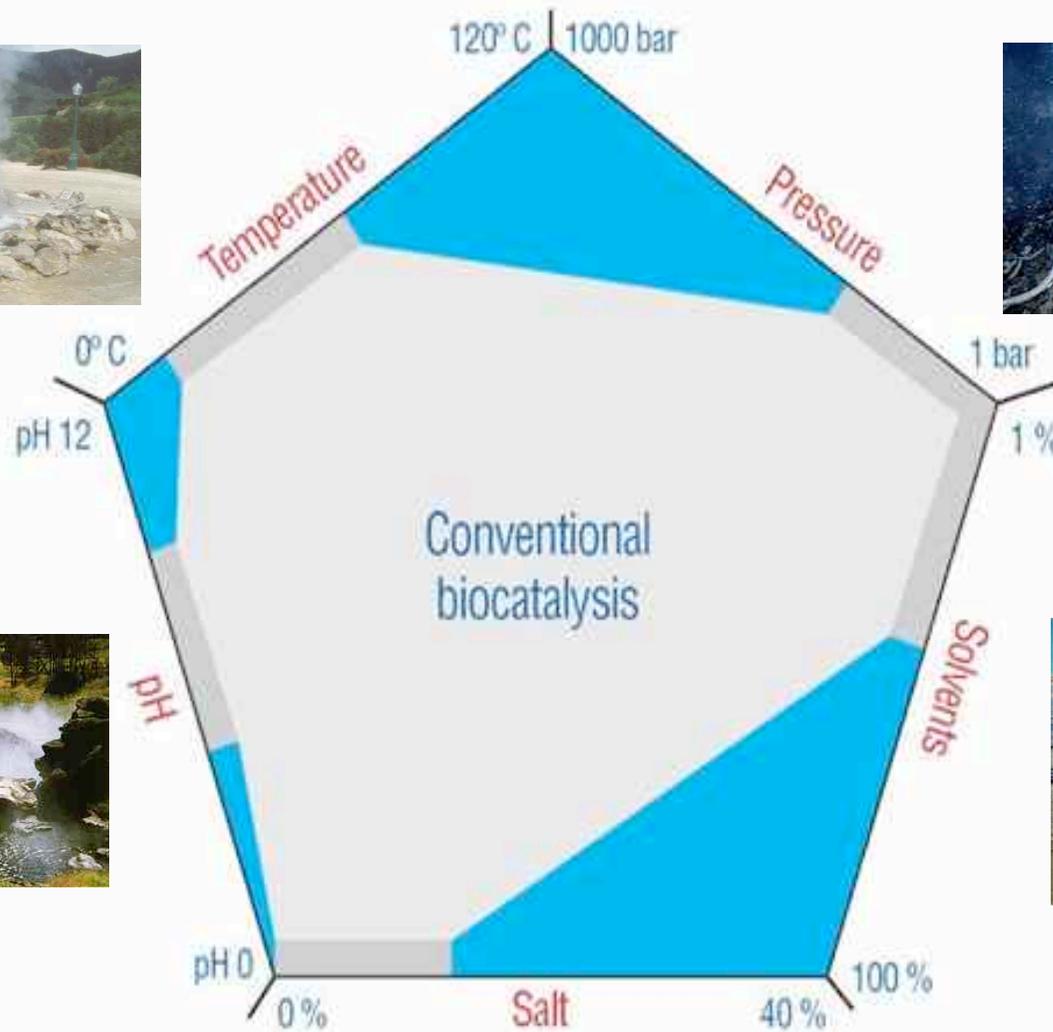
**Energie**  
Bioethanol  
Biogas  
Wasserstoff



**Enzyme**  
Waschmittel  
Textil  
Papier  
Futtermittel



# Unkonventionelle Biokatalyse



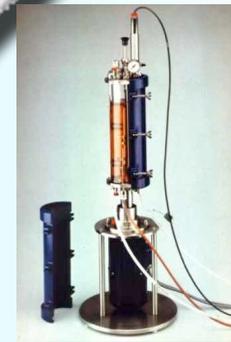
# Die meisten Mikroorganismen sind nicht kultivierbar



Yeast



Bacteria, Archaea



Mehr als 98% aller Mikroorganismen sind noch unentdeckt.  
5000 Mikroorganismen sind Kultivierbar

Nutzung der natürlichen Diversität

➔ **Entwicklung neuer Kultivierungstechniken**



# Extremophile Mikroorganismen

## Psychrophile Mikroorganismen Leben im ewigen Eis



Widefjorden

Temp.: -2/+5°C

Woodfjorden

Temp.: -5/+8°C

Isfjorden

Temp.: +2°C

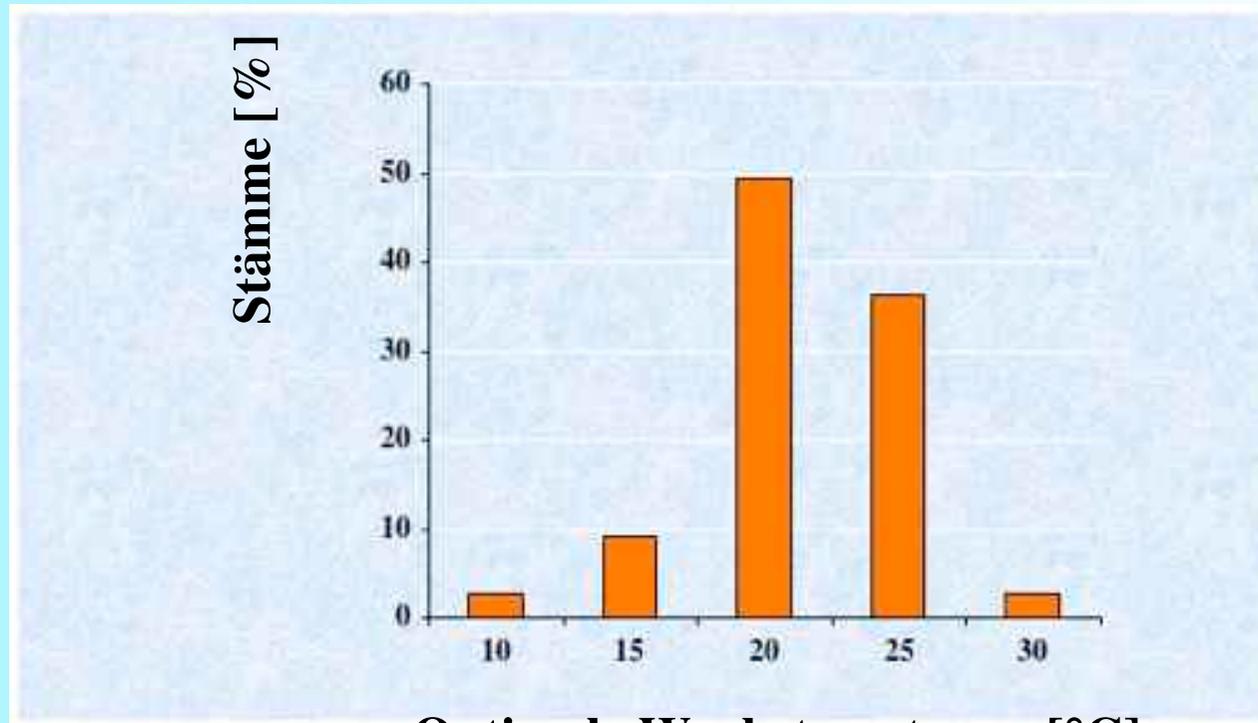
Bellsund

Temp.: 0°C



# Temperaturoptima arktischer Isolate

Ppsychrophile Psychrotolerant



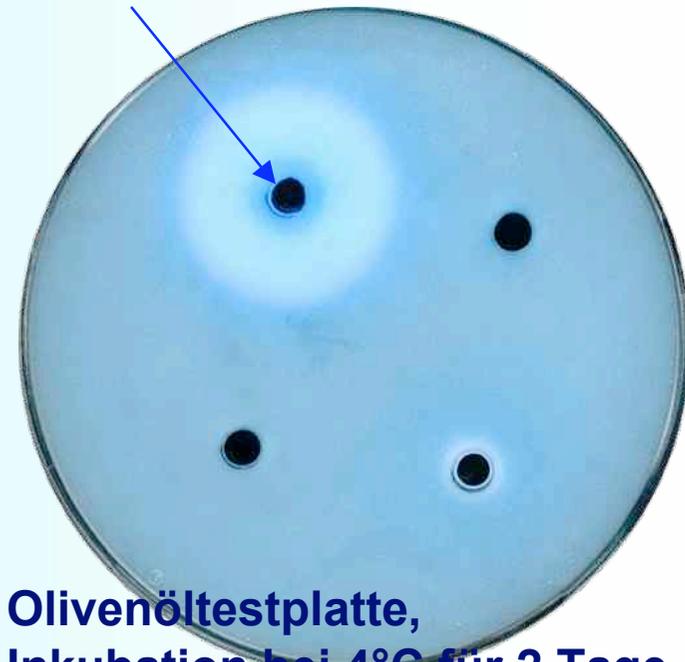
Optimale Wachstumstemp. [°C]



# *Mrakia gelida*, eine Hefe von Spitzbergen, Norwegen



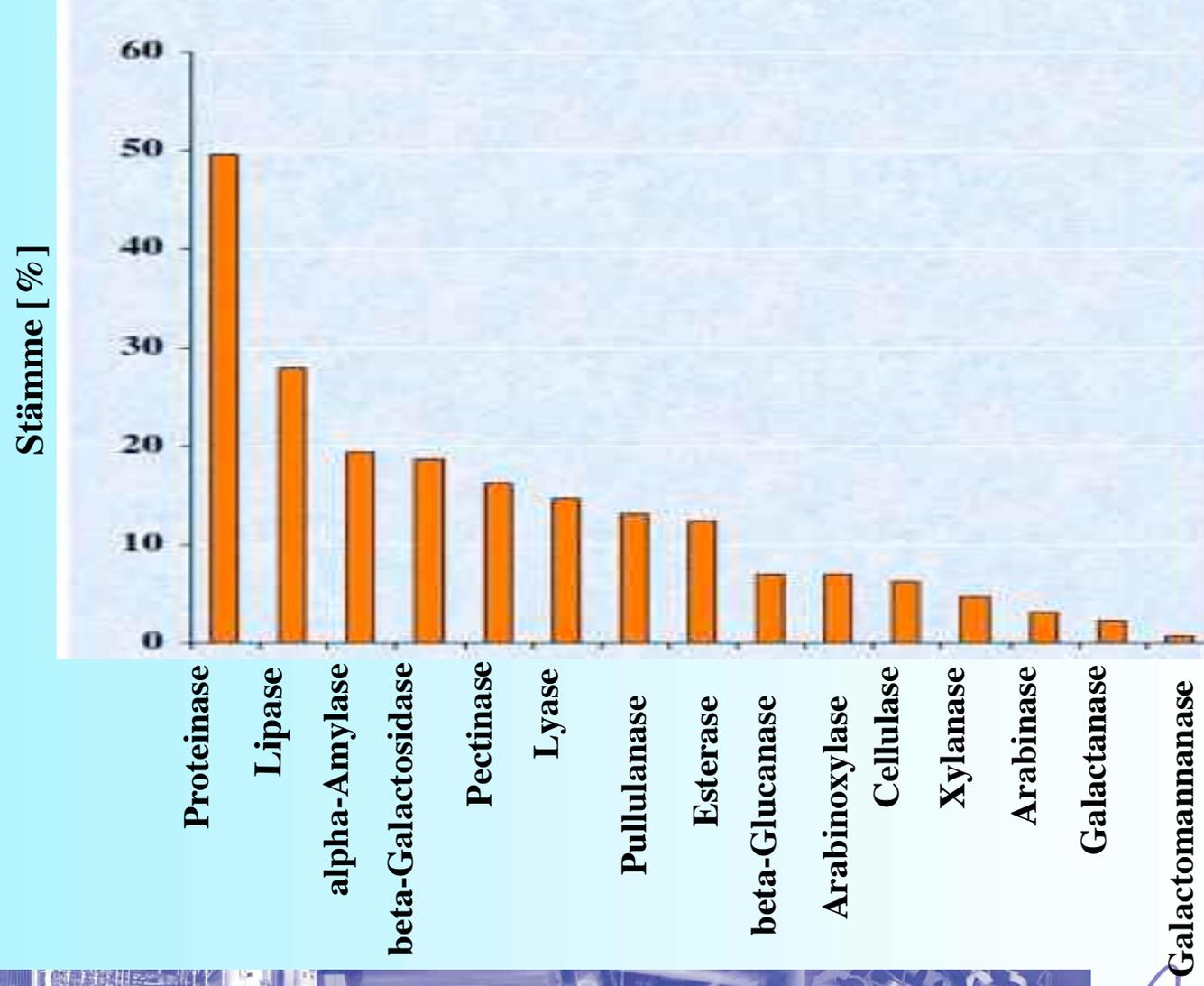
Lipaseaktivität von  
*Mrakia gelida*



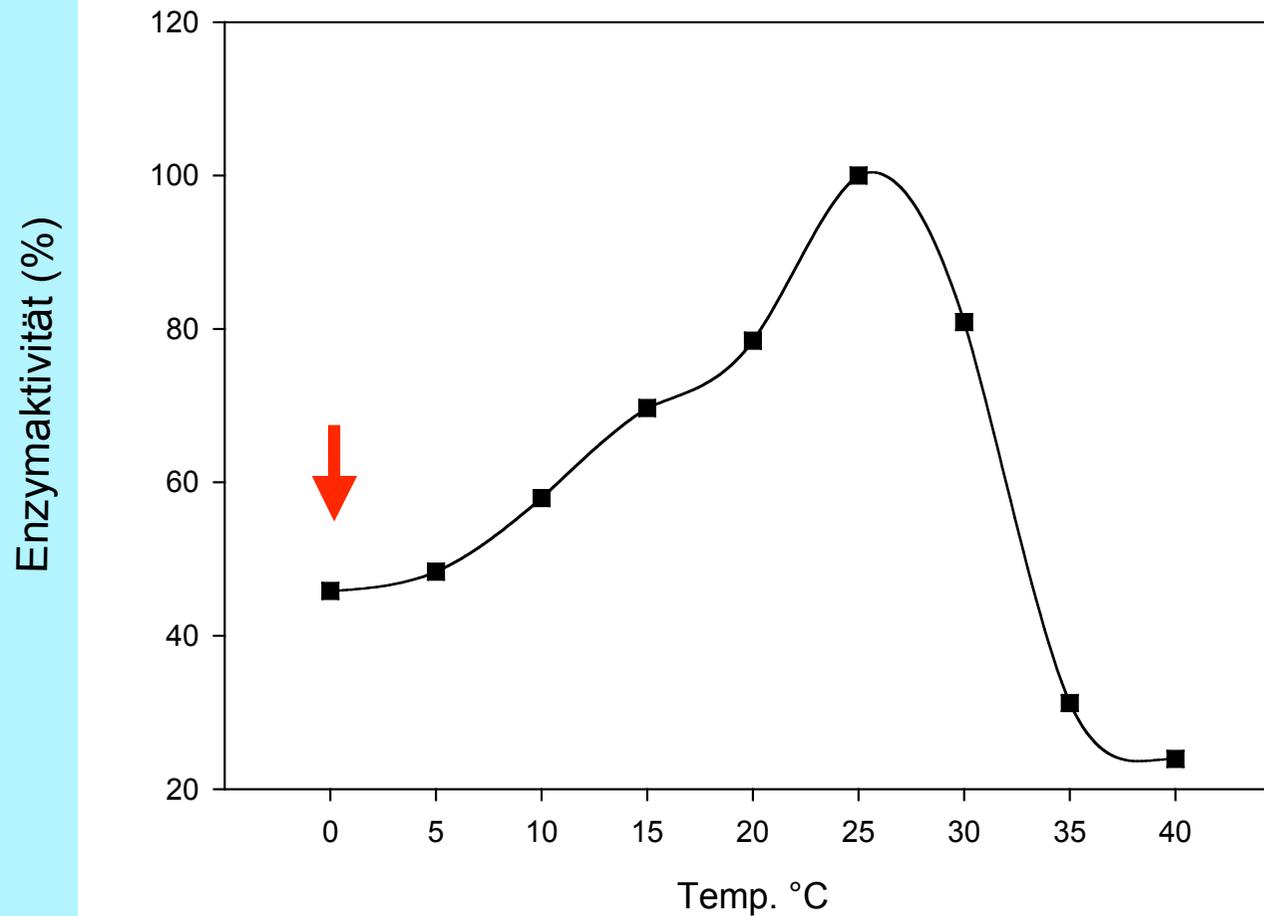
Olivenöltestplatte,  
Inkubation bei 4°C für 2 Tage



# Enzymatische Aktivitäten bei 4°C



# Einfluss der Temperatur auf die kälteaktive Esterase



# Ungewöhnliche Lebensräume

**Thermophile  
Mikroorganismen**  
Leben bei  $>100^{\circ}\text{C}$



**Extreme Standorte -  
Quellen für robuste  
Biokatalysatoren**



# Die Tiefsee

Einige Zahlen...

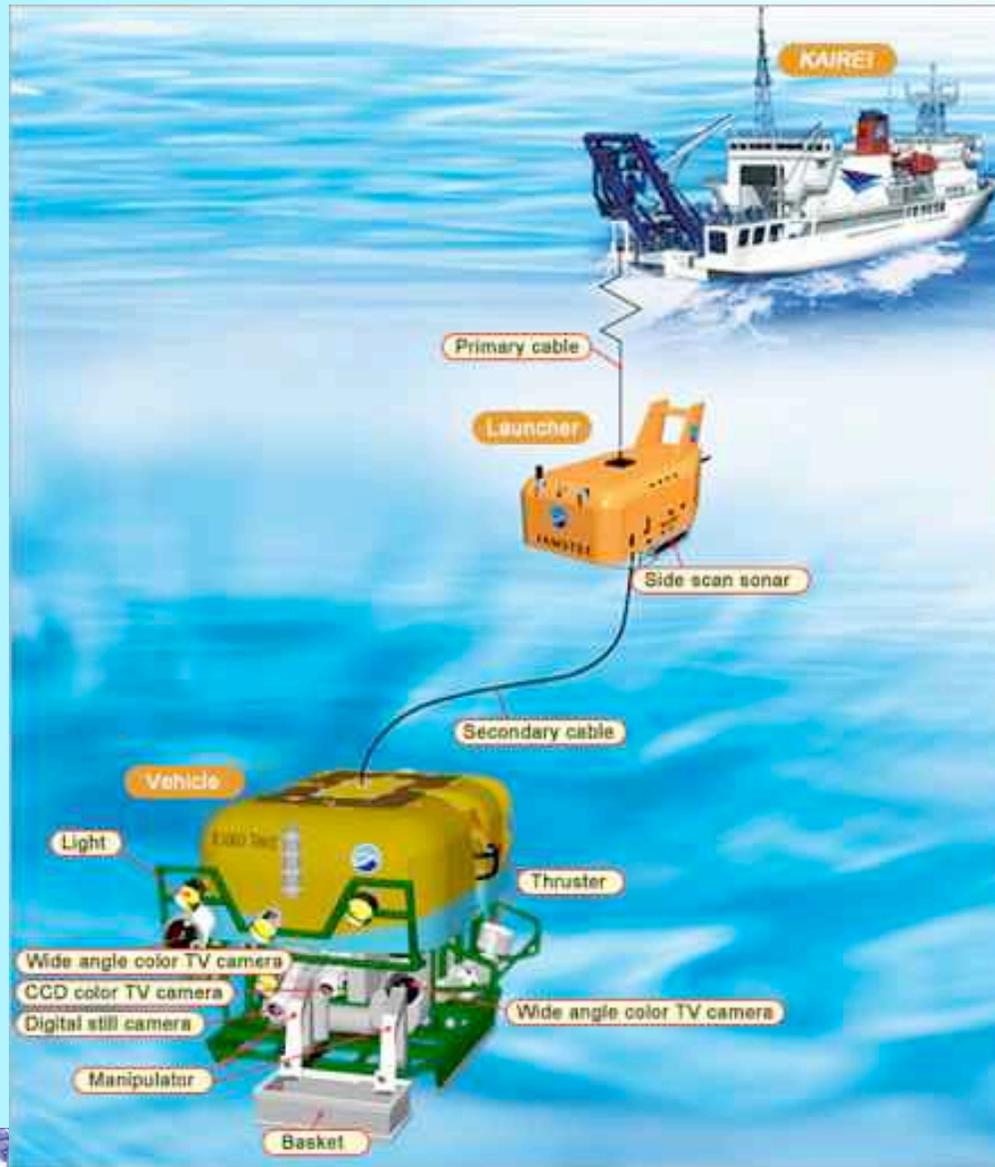
- 70% der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt
- 80% der Ozeane sind tiefer als 1000 m
- 318.000.000 km<sup>2</sup>
- Konstante Temperatur 1-4°C
- Bis zu 1000 bar Druck
- Nur etwa 1% der Tiefsee bislang erforscht



# Das unbemannte Tauchboot „Kaiko“



Lost at sea 05/2003.



# Tiefseebohrung



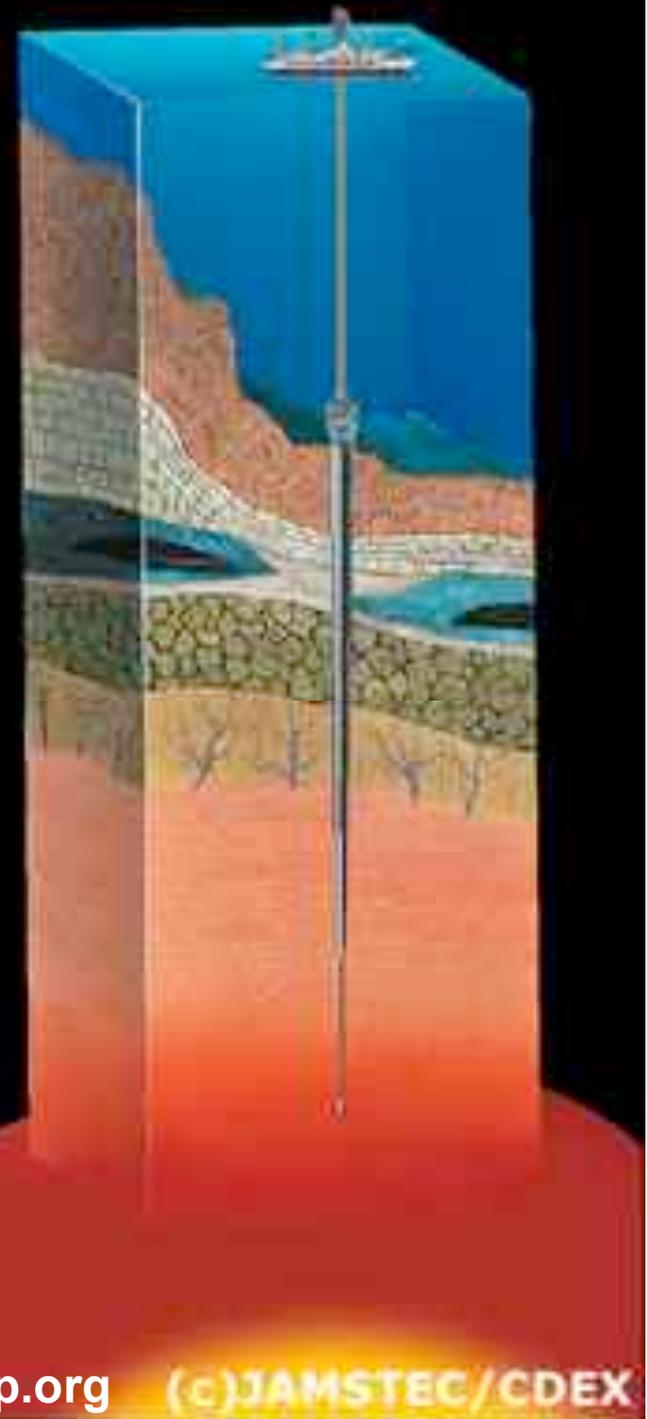
Teil des IODP - Integrated Ocean Drilling Program)

„...an international marine research program that explores the Earth's history and structure as recorded in seafloor sediments and rocks, and monitors subseafloor environments.“

"Earth, Oceans and Life: Scientific Investigations of the Earth System Using Multiple Drilling Platforms and New Technologies.“

## Forschungsgebiete:

- Die tiefe Biosphäre und die Biosphäre der Erdkruste
- Wechsel der Umweltbedingungen, deren Prozesse und Effekte
- Geodynamik, Plattentektonik

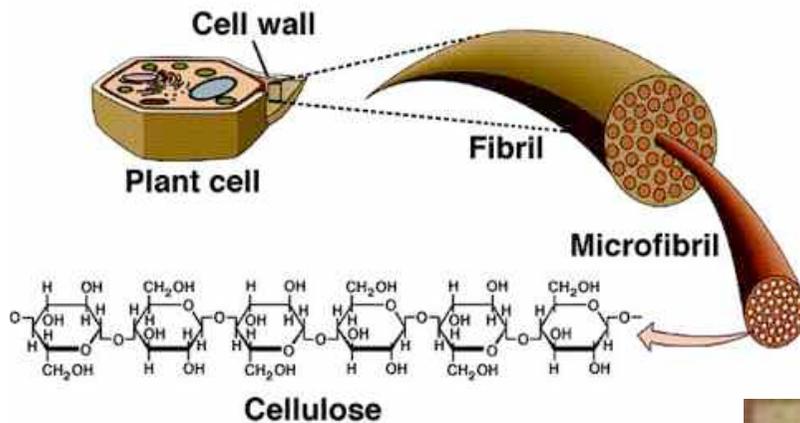




# Effiziente Umsetzung von Biomasse

## Bioethanol 2. Generation

### Cellulose



Institut für Technische Mikrobiologie

- Gewinnung von Wertstoffen aus heimischer Biomasse (Roggenganzpflanze)
- Nutzung des Cellulose- und Hemicelluloseanteils durch thermischen und enzymatischen Aufschluss
- Einsatz neuer Enzymsysteme aus Pilzen und thermophilen Mikroorganismen
- Entwicklung eines Extremozym-Hochtemperatur-Aufschlusses



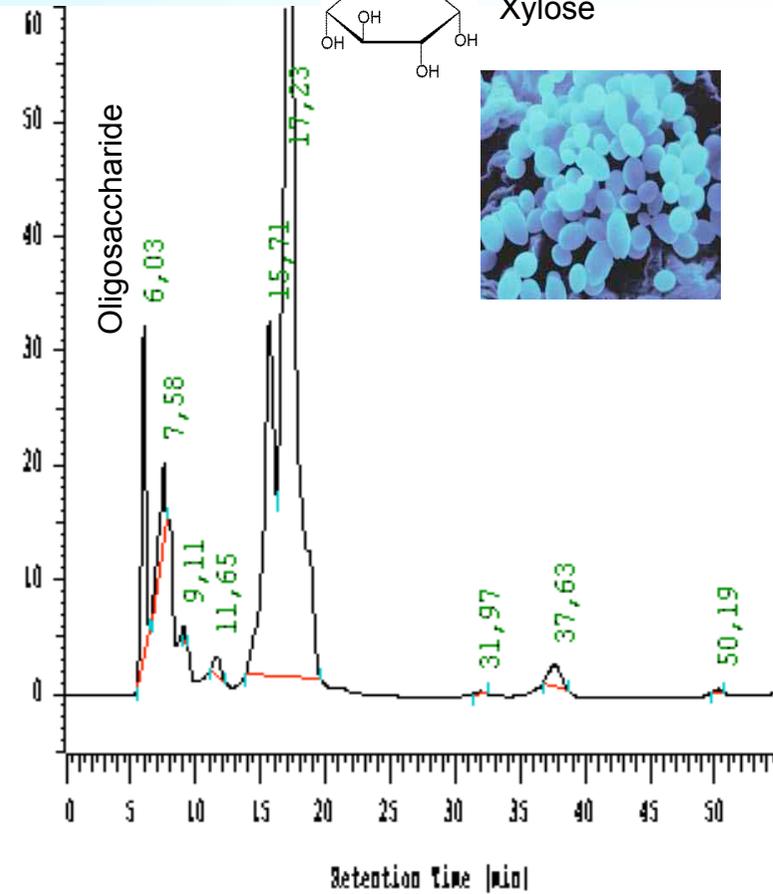
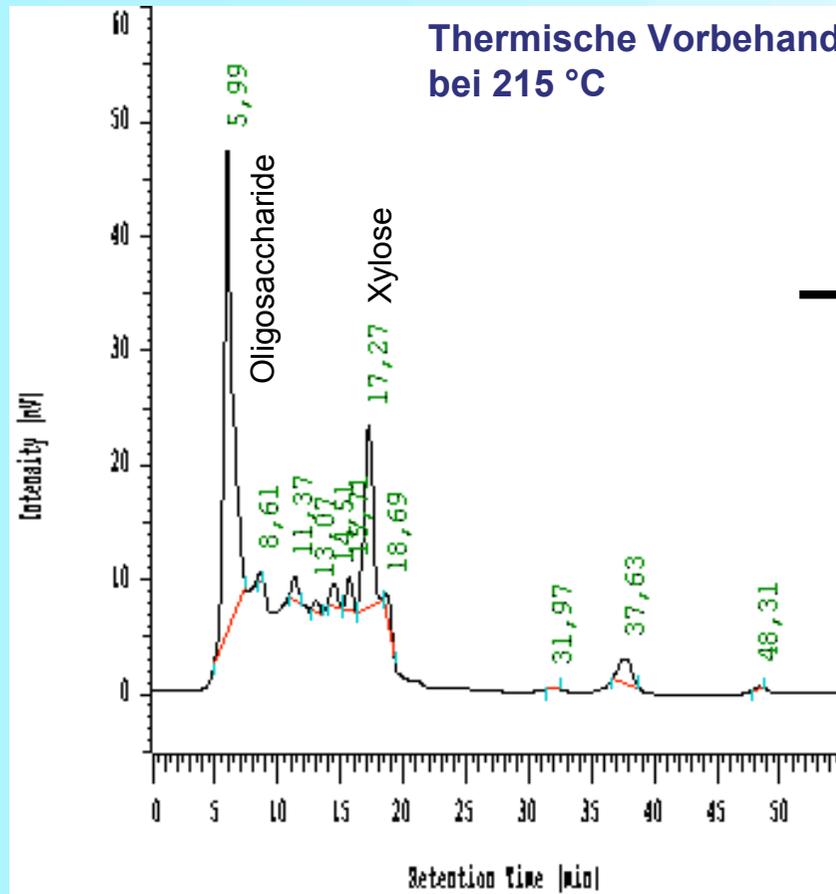
## Roggenstroh



- Roggenpflanzen sind leicht zu kultivieren
- Die Verwendung von Roggenstroh stellt keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelindustrie dar
- Zusammensetzung:
  - **21% Xylose (Hemicellulose)**
  - **41% Glukose (Cellulose)**
  - **22% Lignin**
  - **andere Saccharide**



# Umwandlung der gelösten Hemicellulose in Xylose durch thermostabile Xylanasen



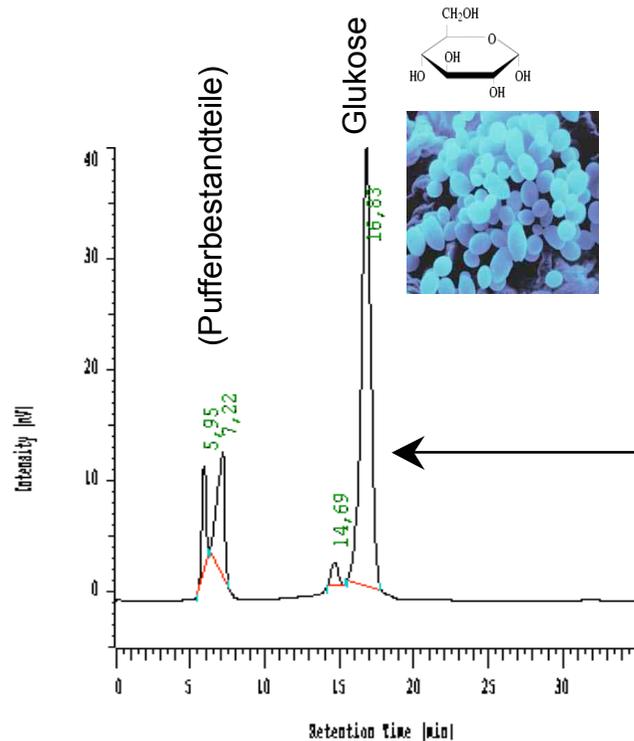
vor enzymatischer Hydrolyse

nach enzymatischer Hydrolyse

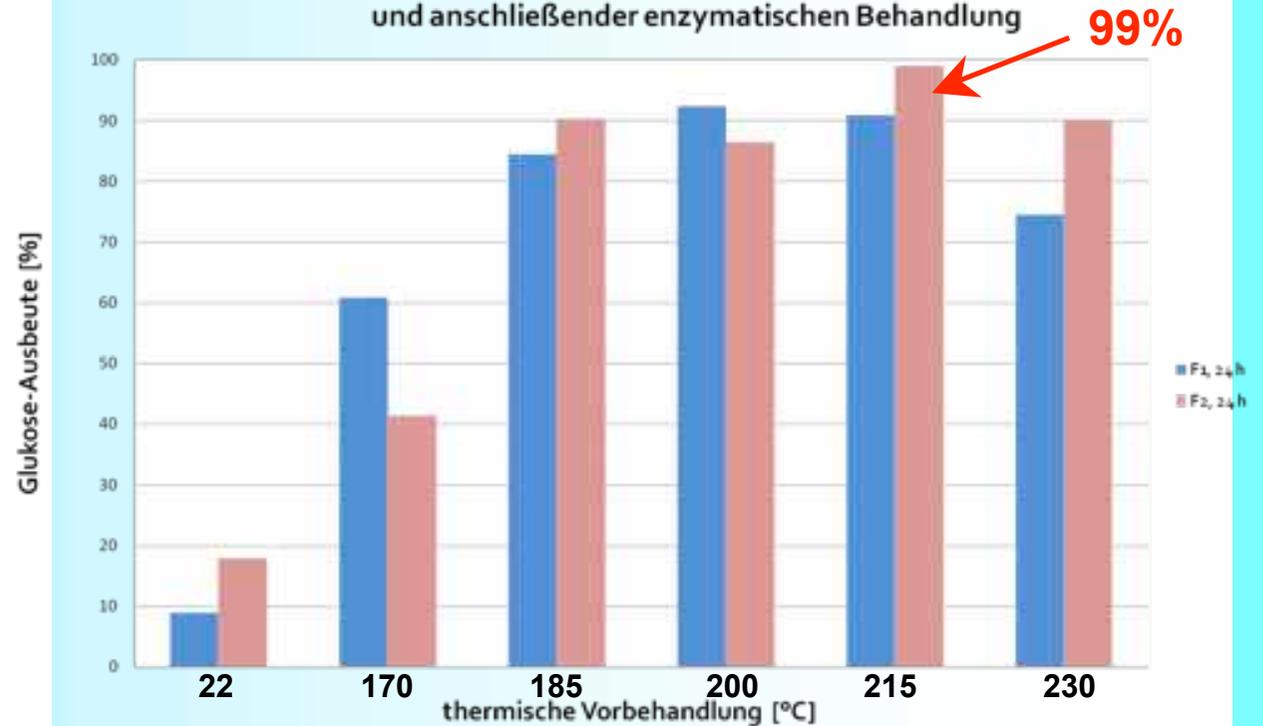


# Umwandlung der ungelösten Cellulose in Glukose mit Hilfe von Cellulasen

Thermische Vorbehandlung  
bei 215 °C



Glukose-Ausbeute nach unterschiedlichen thermischen Vorbehandlungen  
und anschließender enzymatischer Behandlung



der Feststoff wird ausschließlich zu Glukose  
umgesetzt mit einer Ausbeute bis zu 99%



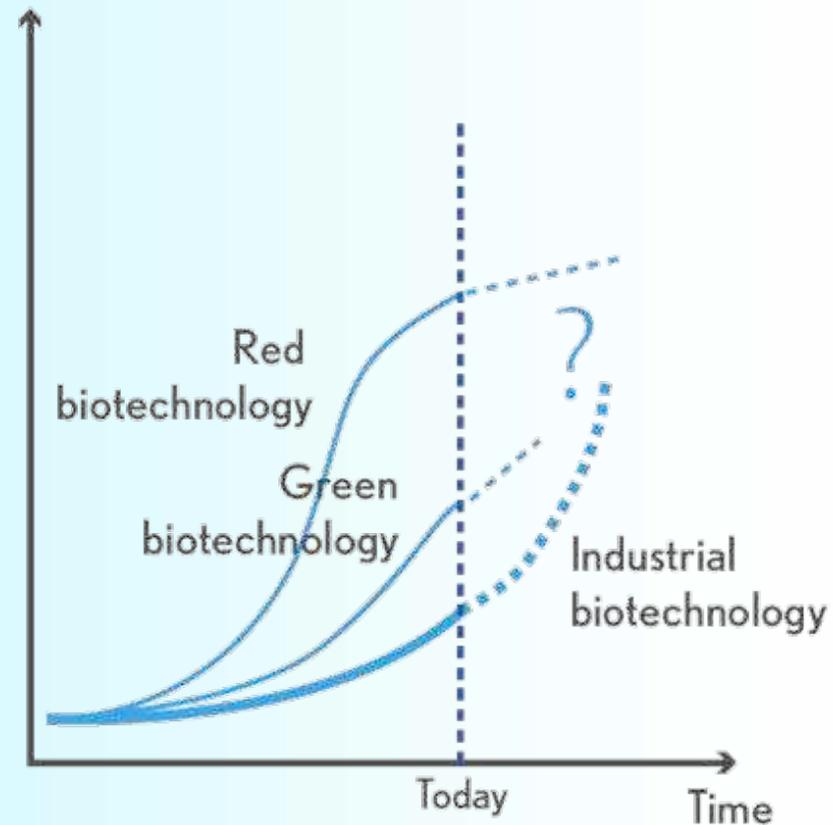
# *M* 5. Ausblick



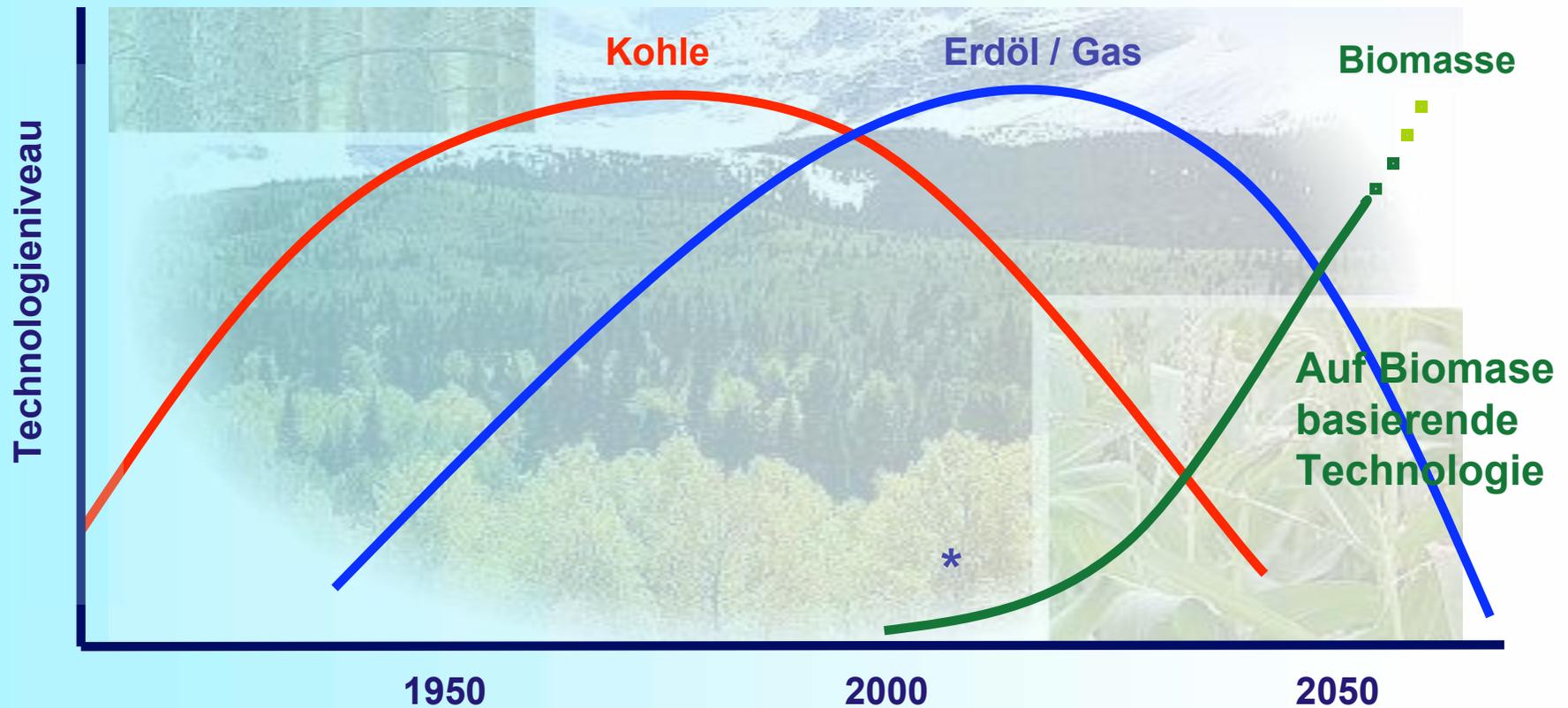
## Entwicklungspotenziale der Roten, Grünen und Weißen Biotechnologie



Market penetration



## Biomasse als Rohstoff der Zukunft ?



\* 10 % ist der Anteil eingesetzter Biomasse in der chemischen Industrie

Öle/Fette 920.000 t    Cellulose 420.000 t    Stärke 260.000 t    Zucker 240.000 t



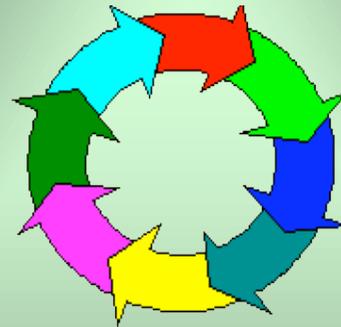
Ökonomische/  
Ökologische Evaluation

I.  
Aufschluss,  
Klassierung,  
Extraktion,  
thermische  
Behandlung

Reaktionskinetik,  
Logistik



Lignin, Cellulose,  
Hemicellulose



Plattformchemikalien,  
Biogas & Kraftstoffe

II.  
Biokonversion  
enzymatische Behandlung

III.  
Bioprozesstechnik  
Fermentation, Biokatalyse



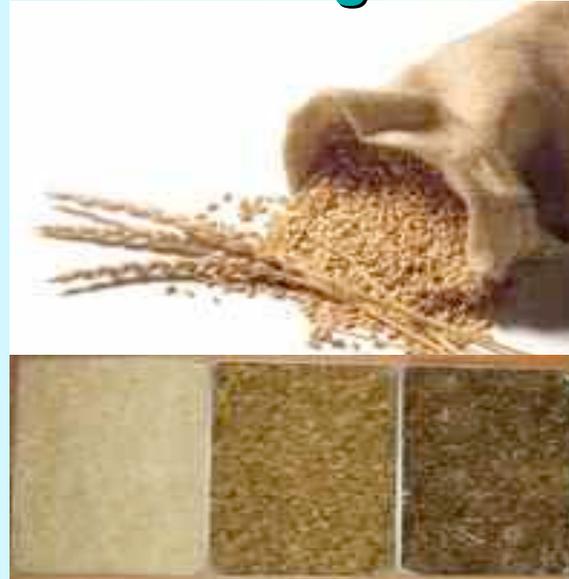
# Die Wahl des richtigen Substrats

## Industrielle Nutzung vs. Ernährung



- **Verwendbarkeit der Pflanzen als Rohstoff**

- **Umweltverträglichkeit**

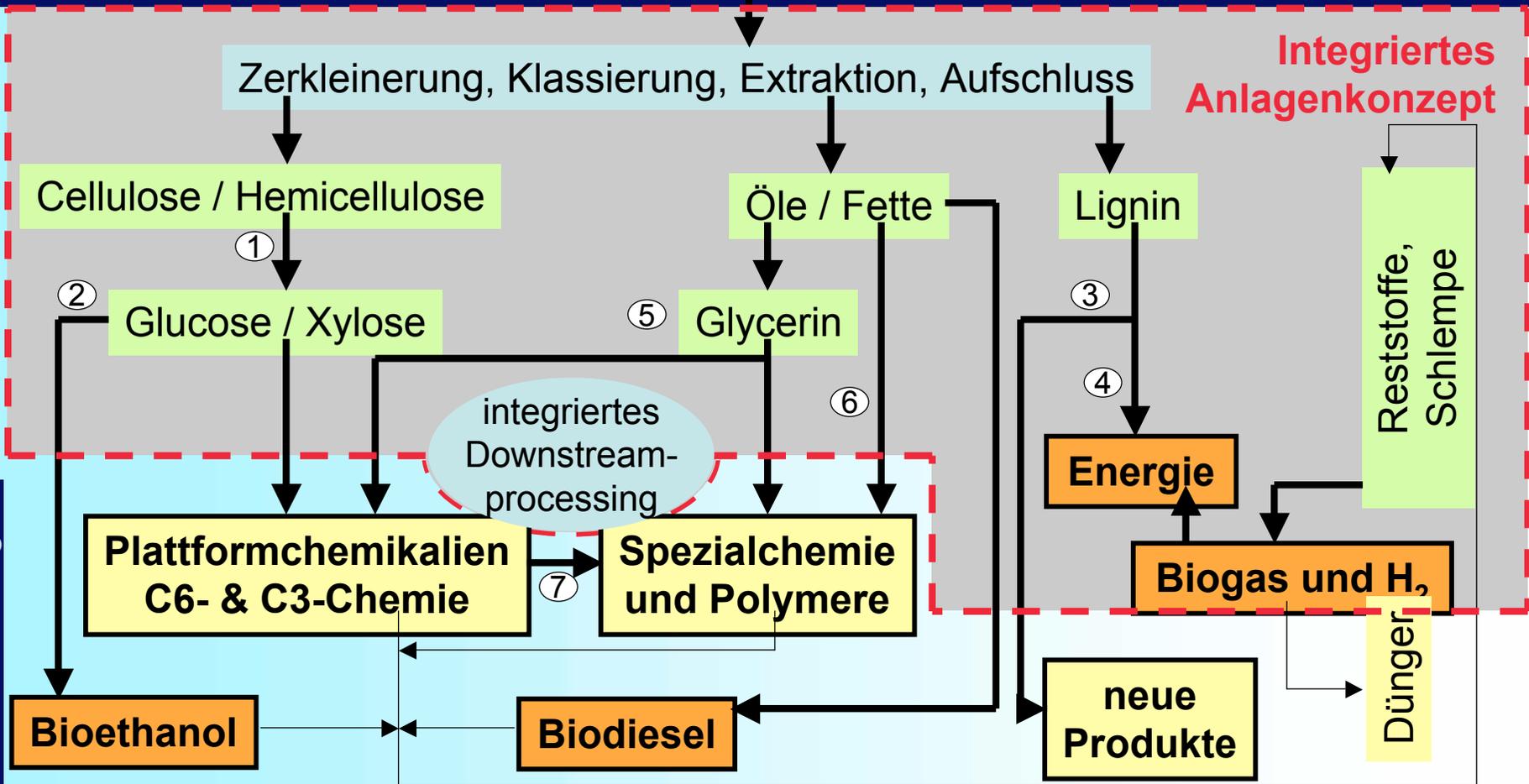


**Technologischer Durchbruch bei der Nutzung von Lignocellulose erforderlich**



# Biomasse

## Integriertes Anlagenkonzept



Institut für Technische Mikrobiologie

- Biomasse / Rohstoffe
- Verfahren
- stoffliche Produkte
- energetische Produkte

- ① enzymatisch-thermischer Aufschluss
- ② C6- und C5-Vergärung
- ③ innovative Produkte aus Lignin
- ④ thermische Ligninumsetzung
- ⑤ biotransformatorische Glycerinverwertung
- ⑥ biokatalytische Umesterung
- ⑦ Bio- / Chemokatalyse

# Industrielle Biotechnologie Nord

# IBN



## Industrial Biotechnology North



Institut für Technische Mikrobiologie



**TECHNISCHE  
MIKROBIOLOGIE**  
BIOTECHNOLOGIE  
TUHH

# BMBF-Cluster Biokatalyse2021



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# BIO 2021 KATALYSE

*Nachhaltige Biokatalyse auf neuen Wegen*  
[www.biokatalyse2021.de](http://www.biokatalyse2021.de)

Institut für Technische Mikrobiologie



  
TECHNISCHE  
MIKROBIOLOGIE  
BIOTECHNOLOGIE  
TUHH

# Bio-basierte Technologien für die Zukunft

**Danke!**

